

TNO-rapport  
PML 1997-A37

## Weerstand van spall-liners tegen de uitwerking van de mortiermijn nr. 23C2

TNO QUALITY INSPECTED 4

TNO Prins Maurits Laboratorium

Lange Kleiweg 137  
Postbus 45  
2280 AA Rijswijk

Telefoon 015 284 28 42  
Fax 015 284 39 59

Datum  
september 1997

Auteur(s)  
Drs. M. Ehrlich

Rubricering  
Vastgesteld door : Dhr. M.C.P. Peijen  
Vastgesteld d.d. : 22 augustus 1997  
(deze rubricering wijzigt niet)

Titel : Ongerubriceerd  
Managementuitreksel : Ongerubriceerd  
Samenvatting : Ongerubriceerd  
Rapporttekst : Ongerubriceerd  
Bijlagen A - B : Ongerubriceerd

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar  
gemaakt door middel van druk, foto-  
kopie, microfilm of op welke andere  
wijze dan ook, zonder voorafgaande  
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
Algemene Voorwaarden voor Onder-  
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel  
de betreffende terzake tussen de  
partijen gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het  
TNO-rapport aan direct belang-  
hebbenden is toegestaan.

Exemplaar nr. : 12  
Oplage : 23  
Aantal pagina's : 30 (incl. bijlagen,  
excl. RDP & distributielijst)  
Aantal bijlagen : 2

©1997 TNO

19971223 017

TNO Prins Maurits Laboratorium is onderdeel  
van de hoofdgroep TNO Defensieonderzoek  
waartoe verder behoren:

TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium  
TNO Technische Menskunde



DISTRIBUTION STATEMENT A

Approved for public release;  
Distribution Unlimited

Nederlandse Organisatie voor toegepast-  
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

## Managementuittreksel

Titel : Weerstand van spall-liners tegen deuitwerking van de mortiermijn nr. 23C2  
Auteur(s) : Drs. M. Ehrlich  
Datum : september 1997  
Opdrachtnr. : A96KL484  
Rapportnr. : PML 1997-A37

In opdracht van DMKL, Afdeling Manoeuvre werd een onderzoek uitgevoerd naar het beschermend effect van een aantal (Dyneema) spall-liner configuraties, toegepast in een voertuigpantser, tegen de mortiermijn nr. 23C2. Dit voertuigpantser bestond in eerste instantie respectievelijk uit 6 mm pantserstaal Armox 500S, en een 10 mm plaat van aluminium 6068, met daartussen een lege ruimte van 24 mm. De buitenkant van het pantser werd gevormd door het staal, de binnenkant door het aluminium.

Spall-liners werden gebruikt in composietvorm met diktes van respectievelijk 6, 12 en 24 mm.

De spall-liners met dikten van 6 en 12 mm werden getest als *out-liners*, dus tegen het aluminium bevestigd; spall-liners met diktes van 12 en 24 als *in-liners*, dus tussen het staal en de aluminium plaat.

Tijdens de inleidende proeven bleek het met dit basispantser (dus zonder spall-liner) niet goed mogelijk te zijn een 'optimaal' aantal scherfperforaties te verkrijgen, nodig om de werking van de spall-liner goed te kunnen evalueren. Daarom werd de 6 mm Armox 500S vervangen door 5 mm staal 37. Bij een detonatieafstand van 30 cm ontstond nu wel een voldoende groot aantal scherfperforaties, waarbij echter bleek dat de blast achter het basispantser (dus zonder spall-liner) minimaal was. In het verdere verloop van de experimenten werd daarom uitsluitend aandacht besteed aan het beschermend effect van de spall-liners tegen scherven, afkomstig van het basispantser.

Uit het onderzoek is gebleken dat een spall-liner de schade binnen een voertuig door spall aanzienlijk kan verminderen. Daartoe dient de liner als outliner, dat wil zeggen aan de binnenzijde van het voertuig, te worden aangebracht. Een dikte van 12 mm Dyneema geeft als outliner een volledige bescherming tegen de scherven van een mijn nr. 23C2, op een afstand van 30 cm van het pantser tot detonatie gebracht.

## Samenvatting

Een onderzoek werd uitgevoerd naar het beschermend effect van een aantal (Dyneema) spall-liner configuraties, toegepast in een voertuigpantser, tegen de mortiermijn nr. 23C2. Dit voertuigpantser bestond uit respectievelijk uit 5 mm staal 37, en een 10 mm plaat van aluminium 6068, met daartussen een lege ruimte van 24 mm. De buitenkant van het pantser werd gevormd door het staal, de binnenkant door het aluminium.

Spall-liners werden gebruikt in composietvorm met diktes van respectievelijk 6, 12 en 24 mm.

De spall-liners met dikten van 6 en 12 mm werden getest als *out-liners*, dus tegen het aluminium bevestigd; spall-liners met diktes van 12 en 24 als *in-liners*, dus tussen het staal en de aluminium plaat.

De experimenten zijn uitgevoerd bij een detonatieafstand van 30 cm tussen de hartlijn van de mijn en de buitenkant van het pantser, waarbij echter bleek dat de blast achter het basispantser (dus zonder spall-liner) minimaal was. In het verdere verloop van de experimenten werd daarom uitsluitend aandacht besteed aan het beschermend effect van de spall-liners tegen scherven, afkomstig van het basispantser.

Uit het onderzoek is gebleken dat een spall-liner de schade binnen een voertuig door spall aanzienlijk kan verminderen. Daartoe dient de liner als outliner, dat wil zeggen aan de binnenzijde van het voertuig, te worden aangebracht. Een dikte van 12 mm Dyneema geeft als outliner een volledige bescherming tegen de scherven van een mijn nr. 23C2, op een afstand van 30 cm van het pantser tot detonatie gebracht.

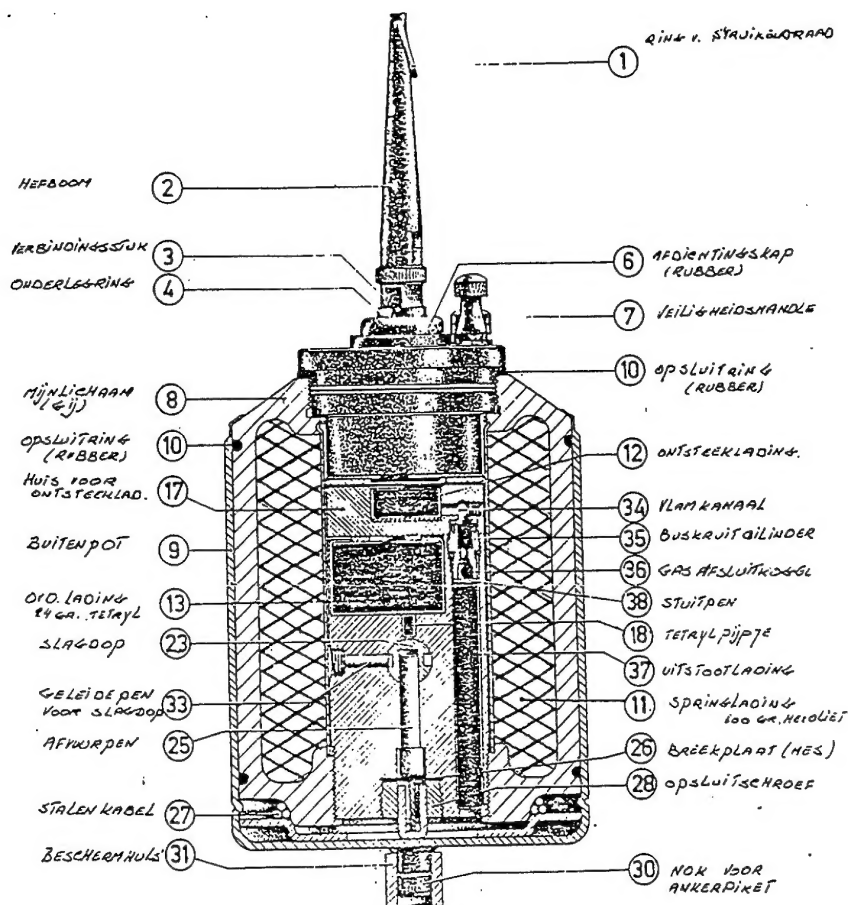
## Inhoud

Managementuittreksel .....	2
Samenvatting .....	3
1      Inleiding .....	5
2      Het experimentenprogramma .....	7
2.1      De experimentele opstelling .....	7
2.2      Keuze van de materialen .....	8
2.3      Te testen configuraties .....	8
3      Experimentele resultaten .....	9
3.1      De inleidende experimenten .....	9
3.2      Perforatiemetingen .....	9
4      Bevestiging van een spall-liner .....	11
4.1      Verlijmen .....	11
4.2      Boutverbinding .....	11
5      Milieuaspecten van composietmaterialen .....	12
6      Conclusies .....	13
7      Literatuur .....	14
8      Ondertekening .....	15
Bijlagen:	
A      Memorandum	
B      Foto's	

## 1 Inleiding

Een belangrijke dreiging voor lichte pantservoertuigen is de gecombineerde uitwerking van fragmenten en blast, met name van mijnen. Een methode om de uitwerking van dit soort mijnen te verminderen is de toepassing van zogenaamde spall-liners aan de binnenzijde van voertuigen. De combinatie van voertuigpantser plus spall-liner wordt combipantser genoemd.

Doel van het onderhavige project is inzicht te verkrijgen in de mate van additionele bescherming die verkregen kan worden door toepassing van moderne composiet spall-liner materialen in combipantsers. Bij dit onderzoek werd als representatieve mijn de mortiermijn nr. 23C2 gebruikt. Deze mijn is een zogenaamde mortiermijn, die circa 1 meter omhoog wordt geschoten door een uitstootlading alvorens te detoneren. In het huidige onderzoek, hier beschreven, is de mijn ontdaan van de buitenpot met uitstootlading en geschikt gemaakt voor elektrische ontsteking. Een beschrijving van deze mijn en de verschervingskarakteristieken wordt gegeven in referentie 1. Een tekening wordt getoond in figuur 1.



*Figuur 1: Mortiermijn AP nr. 23C2.*

Behalve de blastmetingen is een experimentele parameterstudie verricht naar de optimale toepassing van composiet spall-liners in een combipantser. De experimentele opzet van dit programma en de testresultaten worden beschreven in hoofdstukken 2 en 3.

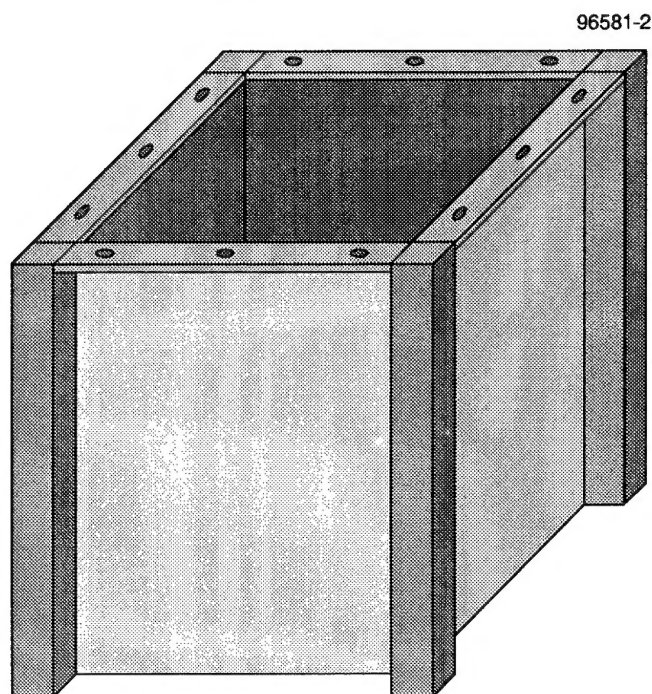
Er is uitgegaan van een combipantser dat bescherming dient te bieden tegen 7.62 AP-projectielen. Een gebruikelijke configuratie van dat combipantser bestaat uit een hardstalen plaat van 5 mm dikte aan de buitenzijde en een aluminium plaat van 10 mm dikte met een tussenruimte van 20 mm. Bij perforatie van dit soort pantsers vormt spall een belangrijke dreiging voor de bemanning. Om dit 'behind-armour' effect te reduceren kan een spall-liner toegepast worden. Om dit te onderzoeken is een testprogramma uitgevoerd met diverse dikten composietmateriaal op diverse plaatsen ten opzichte van het voertuigpantser.

Verder wordt in het kort aandacht besteed aan de mogelijke bevestigingsmethoden van een spall-liner (hoofdstuk 4) en aan milieu-aspecten van het gebruik van composietmaterialen (hoofdstuk 5).

## 2 Het experimentenprogramma

### 2.1 De experimentele opstelling

De experimenten werden uitgevoerd in een opstelling waarin zich drukopnemers voor de blastmeting bevonden. De bedoeling van deze opnemers was het meten van de blast die zich door de perforaties in het pantser voortplant. Aangezien de beproefde pantserconcepten afmetingen van 1 bij 1 meter hadden, was het belangrijk te voorkomen dat de directe blast van de mijn om het pantser heen bij de opnemers zou komen. Daarom werd het pantserconcept gemonteerd op een daartoe gebouwde stalen kist van 1 bij 1 meter met wanden van 10 mm dikte. De opstelling wordt getoond in figuur 2.



*Figuur 2: Schematisch aanzicht van de experimentele opstelling (afmetingen: bovenkant 1 x 1 m, lengte 0,9 m).*

In deze kist werden de drukopnemers voor de blastmetingen aangebracht. Toen na de eerste proeven gebleken was dat blastmetingen niet langer zinvol waren, werden de drukopnemers verwijderd en werd bij elk experiment een 1 mm dikke aluminium getuigeplaat op halve hoogte in de kist aangebracht.

## 2.2 Keuze van de materialen

Het te beproeven pantserconcept moest worden benaderd met verkrijgbare materialen. Voor de hardstalen buitenlaag is gekozen voor Armox 500S van Swedish Steel (SSAB), dat een hardheid heeft van circa 550 HB. De dikte was 6 mm, omdat de gewenste dikte van 5 mm niet leverbaar was. De aluminium platen waren van Al 6068, met een dikte van 10 mm.

Het spall-liner materiaal was een composiet van Dyneema polytheenvezels, geleverd door Ten Cate. Het was de bedoeling dit materiaal te testen in dikten van 5, 10 en 20 mm. Ook weer wegens leverbaarheid moest gebruik worden gemaakt van de dikten 6, 12 en 24 mm. Om binnenin het combipantser ruimte te bieden aan 24 mm spall-liner is deze 24 mm tevens aangehouden als standaard tussenruimte tussen staal en aluminium.

Bij de inleidende proeven bleek dat de 6 mm Armox 500S pantserstaal dusdanig sterk is dat een onvoldoende aantal individuele scherven van de mijn, op 20 en 40 cm afstand tot detonatie gebracht, deze plaat perforerden, zodat het effect van de spall-liner niet goed kon worden gemeten.

Daarom zijn de overige proeven uitgevoerd met platen van 5 mm staal 37. Dit is een veel gebruikt constructiestaal, dat geen bijzondere pantsereigenschappen heeft.

## 2.3 Te testen configuraties

Om de diverse configuraties te beschrijven wordt gebruikgemaakt van de uitdrukkingen *outliner* en *inliner*. Een inliner is een spall-liner die tussen de pantserplaten is aangebracht, terwijl een outliner buiten de pantserplaten is aangebracht, maar wel aan de binnenkant van het voertuig.

In alle gevallen (behalve bij de inleidende experimenten) bestond het pantser uit 5 mm staal 37, 24 mm tussenruimte en 10 mm aluminium. De volgende varianten zijn onderzocht:

- geen spall-liner;
- 6 mm outliner;
- 12 mm outliner;
- 12 mm inliner;
- 24 mm inliner.

Aangezien het pantser horizontaal werd beproefd, was het noodzakelijk de spall-liner op zijn plaats te houden door hem te verlijmen met de betreffende metaalplaat. Daartoe werd de lijmtechniek toegepast die ontwikkeld is in het kader van het EUCLID RTP 3.2 project (referentie 2).

In elk van deze configuraties zijn drie experimenten uitgevoerd, waarbij een mijn nr. 23C2 boven het pantser werd gesprongen.



### 3 Experimentele resultaten

#### 3.1 De inleidende experimenten

Het doel van de inleidende experimenten was om die springafstand van de mijn tot het pantser te vinden, waarbij het pantser door individuele scherven wordt doorboord, maar het pantser niet openscheurt. Geëxperimenteerd werd met afstanden (gemeten van hartlijn van de mijn tot het pantser) van respectievelijk 20, 40 en 35 cm bij gebruik van 6 mm Armox 500S, waarbij bleek dat een onvoldoend groot aantal scherven dit pantserstaal perforeerde. Ook de blast achter het pantser was minimaal (zowel bij de proeven met 6 mm Armox 500S als later met 5 mm staal 37). Een meetverslag van deze drukmetingen is gegeven in bijlage A. Voor de verdere proeven, die werden uitgevoerd met 5 mm staal 37 en een detonatieafstand van 30 cm, werd daarom afgezien van drukmetingen.

#### 3.2 Perforatiemetingen

Een algemeen overzicht van de perforatieresultaten van alle experimenten wordt gegeven in tabel 3.1. In bijlage B worden van een tweetal experimenten (nrs. 3598 en 3594) foto's en een CCD-scan getoond van de opgetreden perforaties.

*Tabel 3.1: Overzicht van perforaties in verschillende pantserconfiguraties (bepaald met een CCD-camera met oplossend vermogen van 1 mm<sup>2</sup>).*

Experiment nr.	Spall-liner	Aantal perforaties in:				
		Staal	Dyneema	Aluminium	Dyneema	Getuigeplaat
3590	Geen	75	N.v.t.	7	N.v.t.	Niet gebruikt
3625	Geen	58	N.v.t.	3	N.v.t.	16
3591	6 mm outliner	71	N.v.t.	3	1	3
3592	6 mm outliner	74	N.v.t.	2	0	0
3593	6 mm outliner	77	N.v.t.	2	1	1
3597	12 mm outliner	57	N.v.t.	1	0	0
3598	12 mm outliner	72	N.v.t.	2	0	0
3624	12 mm outliner	69	N.v.t.	0	0	0
3594	12 mm inliner	45	14	2	N.v.t.	5
3595	12 mm inliner	45	13	2	N.v.t.	8
3596	12 mm inliner	35	15	1	N.v.t.	6
3599	24 mm inliner	32	3	0	N.v.t.	0
3622	24 mm inliner	30	5	2	N.v.t.	12
3623	24 mm inliner	49	3	1	N.v.t.	5

\* De Dyneema spall-liner werd, bij toepassing als 6 mm en 12 mm outliner, op het aluminium pantser geplakt; bij toepassing als 12 mm inliner op het staal. Het hiervoor toegepaste lijmprocedee wordt beschreven in referentie 2. De 24 mm spall-liner, die als inliner werd gebruikt, behoeft niet gelijmd te worden omdat de tussenruimte tussen het stalen buitenpantser en het aluminium binnenpantser exact 24 mm bedroeg.

Uit de resultaten (zie tabel 3.1) valt het volgende af te leiden.

- Het aantal perforaties in staal is bij het standaard pantser (zonder spall-liner) en bij gebruik van een outliner circa 60-70. Bij gebruik van een inliner ligt het gemiddeld aantal perforaties in staal bij circa 40. Blijkbaar heeft de direct achter het staal geplaatste spall-liner een verhoging van de ballistische weerstand van het staal ten gevolg.
- Het aantal perforaties in de 10 mm aluminium pantserplaat ligt bij gebruik van een spall-liner (ongeacht in- of outliner) tussen 0 en 3; zonder spall-liner tussen 3 en 7.
- Het aantal scherven achter de 10 mm aluminium pantserplaat is bij gebruik van een spall-inliner duidelijk hoger dan bij gebruik van een spall-outliner. Bij een spall-liner met een dikte van 12 mm worden bij gebruik als inliner gemiddeld 6 scherven achter het pantser gevonden, bij gebruik als outliner geen enkele scherv!
- Gebruik van een spall-liner in een voertuigpantser vermindert het aantal spall-deeltjes binnenin een voertuig; de werking is het meest effectief bij toepassing als outliner.

## **4 Bevestiging van een spall-liner**

Hoewel een spall-inliner op zich constructieve voordelen heeft boven een spall-outliner is het uit de experimentele resultaten duidelijk dat een spall-outliner de grootste verbetering in ballistische weerstand oplevert.

Voor de bevestiging van een spall-outliner komen twee technieken in aanmerking, namelijk verlijmen en de boutverbinding.

### **4.1 Verlijmen**

In het kader van het EUCLID RTP 3.2 project is door TNO Kunststoffen en Rubber Instituut (TNO-KRI) een uitgebreid onderzoek verricht naar verlijmingstechnieken voor composietmaterialen, met name Dyneema (referentie 2). Het blijkt moeilijk te zijn om Dyneema aan metaal te doen hechten, omdat Dyneema chemisch gezien een vrij inert materiaal is. Er dient gebruik te worden gemaakt van tussenlagen.

In een EUROFINDER-project, dat waarschijnlijk in 1998 gestart zal worden, wordt verder onderzoek op onder andere dit punt verricht.

### **4.2 Boutverbinding**

Het composietmateriaal kan ook door middel van een boutverbinding worden aangebracht. Een mogelijke methode maakt gebruik van aan de binnenkant van het voertuig opgelaste bouten of moeren. Een voordeel van deze techniek is dat deze punten tevens kunnen worden gebruikt voor het bevestigen van uitrustingsstukken in het voertuig.

## 5 Milieuaspecten van composietmaterialen

Composiet spall-liners worden momenteel meestal gemaakt van polytheen, aramide of glasvezels, welke vezels worden ingebed in een harsmatrix.

Op het gebied van het milieu kunnen de volgende schadelijke zaken worden onderscheiden.

- Het inademen van kleine vezels, die vrij zouden kunnen komen bij veroudering, of perforatie door een projectiel.  
De mate waarin deze vezels schadelijk zijn voor de gezondheid hangt voor een belangrijk deel af van de deeltjesgrootte van de ingeademde vezels en tevens uiteraard van de tijdsduur die in een dergelijk milieu wordt doorgebracht. Volgens de literatuur zal een Dyneema composiet, indien vezels vrijkomen, de minst schadelijke vezels produceren in vergelijking met glas en aramide composieten. Uiteraard zal het van het productieproces en de samenstelling van de composieten afhangen of, en zo ja in welke mate, vezels zullen vrijkomen.
- Toxische dampen en rook, die bij eventuele brand zouden kunnen vrijkomen.  
Glas is uiteraard onbrandbaar, echter het gebruikte hars en ook aramide en polytheen zijn in principe brandbaar, waarbij indien een brand ontstaat giftige rook zal vrijkomen.  
Polytheen heeft een relatief laag smeltpunt van circa 120 °C; het smeltpunt van aramide ligt veel hoger.  
In hoeverre bij penetratie door een projectiel of holle lading brand in de spall-liner zal ontstaan is niet te voorspellen; een en andere zal, behalve het gebruikte vezelmateriaal, in sterke mate afhangen van de gebruikte harsmatrix.

Bij normaal gebruik zal een spall-liner, aangebracht binnen een voertuig waar dus geen veroudering door zon en of (regen)vocht optreedt, geen of nauwelijks vezeldeeltjes produceren, zodat geen gezondheidsrisico's bestaan.

Indien de spall-liner geperforeerd wordt door een projectiel zullen vezeldeeltjes vrijkomen en zal mogelijk giftige rook ontstaan vanwege brand.

Verwacht mag echter worden dat de verblijfstijd van de bemanning in het voertuig in zo'n geval zeer kort is, zodat het vrijkomen van vezels geen schade voor de gezondheid oplevert.

Indien het voertuig bij het einde van de gebruiks-/levensduur moet worden opgeruimd, kunnen spall-liners van Dyneema en aramide op gecontroleerde wijze verbrand worden. Glasvezel composiet zal bij verbranding een restant van glas of glasvezels opleveren.

## 6 Conclusies

Uit het onderzoek is gebleken dat een spall-liner de schade door spall aanzienlijk kan verminderen. Daartoe dient de liner als outliner, dat wil zeggen aan de binnenzijde van het voertuig, te worden aangebracht. Een dikte van 12 mm Dyneema geeft als outliner een volledige bescherming tegen de scherven van een mijn nr. 23C2, op een afstand van 30 cm van het pantser tot detonatie gebracht.

Over de bescherming tegen blast kan geen uitspraak gedaan worden. De beproefde mijn nr. 23C2 had onder de geteste omstandigheden te weinig blast-werking, om het eventuele gunstige effect van een aanwezige spall-liner te kunnen meten.

Indien de krijgsmacht daadwerkelijk tot het gebruik van spall-liners zou willen overgaan, zal de keuze van zo'n spall-liner uiteraard mede worden bepaald door de eigenschappen van het basispantser en de vereiste beschermingsgraad tegen een bepaald type/kaliber dreiging.

## 7      Literatuur

- [1] Meer, R.H.A. van der,  
    'Bepaling van de verschervingsparameters van de anti-personeelsmijnen  
    nr. 23C2 en DM-31',  
    TNO-rapport TNO-PML 1992-IN29 (november 1992).
  
- [2] Deventer, D. van en Bouwma, J.,  
    'Adhesive bonding in armours based on ceramic top layer adhesively bonded  
    to fibre laminate backing plate',  
    EUCLID RTP 3.2, NL 2, SICE 3 document, juli 1994.

## 8 Ondertekening

Het experimentele onderzoek en het uitwerken van de resultaten zijn uitgevoerd door medewerkers van het Laboratorium voor Ballistisch Onderzoek onder leiding van Ing. R.H.A. van der Meer.



Ir. G.J.J.M. Peskes  
(Research Coördinator)



Drs. M. Ehrlich  
(Auteur)

---

## **Bijlage A      Memorandum**



*Memorandum*

Aan  
M. Ehrlich  
Van  
R.M. van de Kastele  
Onderwerp  
Resultaat drukmetingen  
Afschrift aan

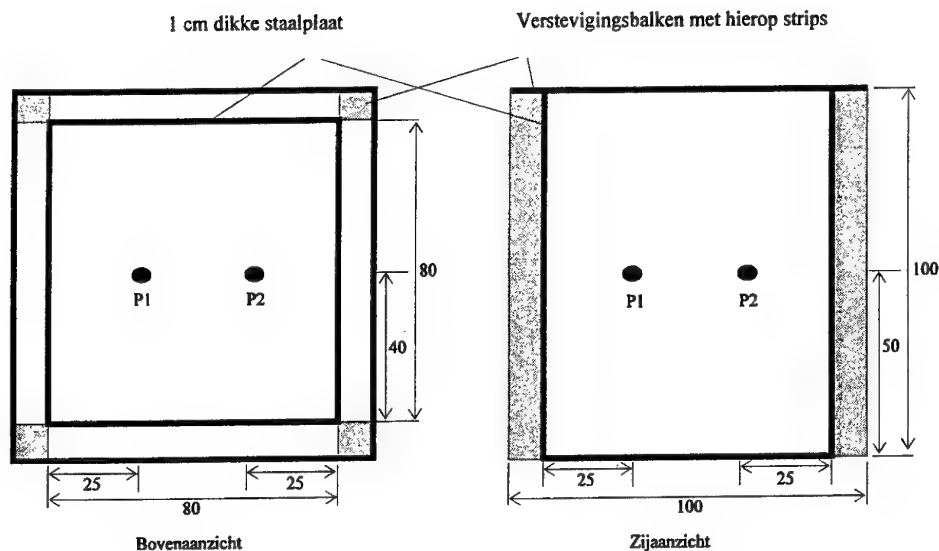
Datum  
9 januari 1997  
Nummer  
PD96-

**Inleiding**

In opdracht van de groep Ballistiek zijn drukmetingen uitgevoerd tijdens de detonatie van een 23C2 mortiermijn. De opzet van het onderzoek was het kwantificeren van de blastbestendigheid van spall-liner materialen. Voor dit onderzoek was een proefprogramma opgesteld waarin verschillende combipantser belast werden door de blast en de fragmenten van een detonerende 23C2 mortiermijn. Om de invloed van de blastreductie achter een spall-liner te kwantificeren zijn drukmetingen uitgevoerd achter het pantser. Om de meest optimale scherfverdeling te krijgen zijn inleidende proeven uitgevoerd waar afstand tussen mortiermijn en pantser gevarieerd werd. Deze afstand tussen pantser en mortiermijn werd zo gekozen dat er nog net geen scheurvorming plaats vond, daar de spall-liner hierdoor zou bezwijken en de druk achter het pantser zeer hoog zou zijn. Verder bestond het programma uit proeven waar een spall-liner op verschillende manieren met het pantser gecombineerd werd.

**Proefopzet**

Twee drukopnemers zijn ingezet na de tweede test van de inleidende proeven. De drukmetingen diende als referentie meting daar bij deze testen nog geen spall-liner werd toegepast. De twee drukopnemers waren geplaatst in een special gefabriceerde stalen box welke simuleerde een gesloten ruimte en diende ervoor om alleen de druk te meten welke door de scherfgaten in het pantser heen kwam en niet de indirecte blastgolven welke om het pantser heen stromen. Het pantser met een afmeting van 1 bij 1 meter was geplaatst op de open bovenzijde van de afgesloten stalen box. De stalen box met hierin de positie van de drukopnemers is schematisch weergegeven in figuur 1. Toegepast zijn drukopnemers van het merk Endevco met type 8530-500. De signalen afkomstig van de drukopnemers zijn gedigitaliseerd en verwerkt met een transient recorder van het merk BSI/ATS, type Digistar III.



Figuur 1: Schematisch overzicht van de stalen box met drukopnemers (maten in cm)

#### Resultaat

Bij de eerste test waarbij de drukopnemers ingezet werden werd een pantsercombinatie toegepast van 6 mm staal en 10 mm aluminium. De mortiermijn was geplaatst op een afstand van 40 cm van het pantser. De gemeten druksignalen zijn grafisch weergegeven in bijlage 1. Beide drukopnemers meten een zeer hoogfrequent signaal. Deze signalen kunnen worden omschreven als geluidsignalen afkomstig van de ontstane trillingen in het staal. De geluidstrillingen zijn gesuperponeerd op een kleine drukverhoging welke ontstaat in de box. Om de drukverhoging beter te analyseren zijn de druksignalen gefilterd met een low-pass 3 kHz filter. De grootse drukverhoging van  $\pm 25$  kPa is gemeten met drukopnemer P1. Het druksignaal van drukopnemer P2 toont een negatieve stap in het signaal na ongeveer 4 ms. Een mogelijk reden voor deze storing is dat het opnemerhuis getroffen wordt door een scherp waardoor de opnemer een schok krijgt. Na de proef was het huis ook beschadigd het druksignaal is hierdoor ook niet betrouwbaar meer.

Met de verkregen resultaten van de uitgevoerde test waaruit bleek dat de druk laag was werd besloten om een test uit te voeren met een dunnere staalplaat. Toegepast werd een staalplaat met een dikte van 5 mm om zo een grotere fragmentatie dus een hogere druk te krijgen. Het resultaat van de drukmeting was gelijk aan de voorgaande test. De druksignalen zijn ook gefilterd en weergegeven in bijlage 1. De druk van ongeveer 15 kPa bij deze test is nog lager dan de gemeten 25 kPa bij de voorgaande test.

Aan de hand van de verkregen resultaten werd tijdens de proefserie besloten om geen drukopnemers meer in te zetten daar door de geringe fragmentatie niet of nauwelijks druk achter het pantser gemeten werd. Wanneer er een spall-finer toegepast zou worden zou de druk nog lager worden. Door de lagere drukniveaus zouden de verschillen te gering zijn waardoor niet de gewenste kwantificering van de verschillende pantsercombinaties vastgesteld konden worden.

### Analyse

Bij het afschatten van eventueel persoonlijk letsel ten gevolge van de drukopbouw achter het pantser is enige voorzichtigheid geboden, omdat de testruimte achter het pantser (volume van ongeveer  $1 \text{ m}^3$ ) niet overeenstemt met een cabine van bijvoorbeeld een pantservoertuig. Met name de quasi-statische drukopbouw zal in een grotere ruimte lager zijn dan in een kleine ruimte.

In het "Schade boek" Commissie Preventie van Rampen door gevaarlijke stoffen (groene boek), van het Directoraat-Generaal van arbeid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid CPR, ISSN 0921-9633: 16, 1990, zijn probit functies opgenomen die de kans op trommelvliesbreuk en lethale longschade afschatten. Voor de kans op trommelvliesbreuk is de peikoverdruk maatgevend. Voor longschade is de piekdruk en impuls van de blastgolf bepalend. Vooral deze laatste parameter is bij de grillige druk-tijd diagrammen moeilijk te bepalen. Bij een peikoverdruk van 25 kPa is er 1 tot 2 % kans op trommelvliesbreuk er is geen kans op lethale longschade.

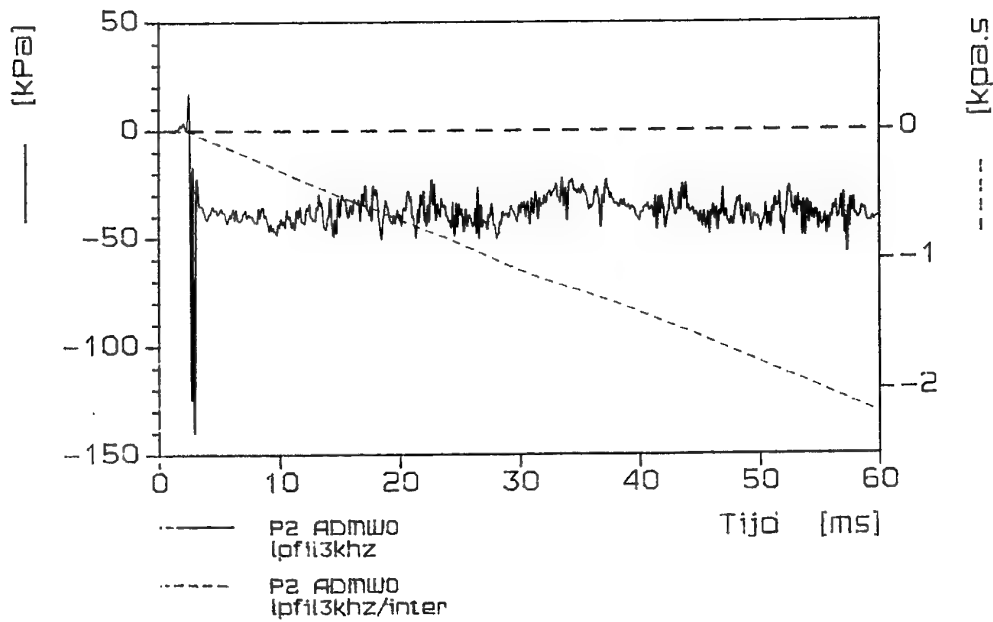
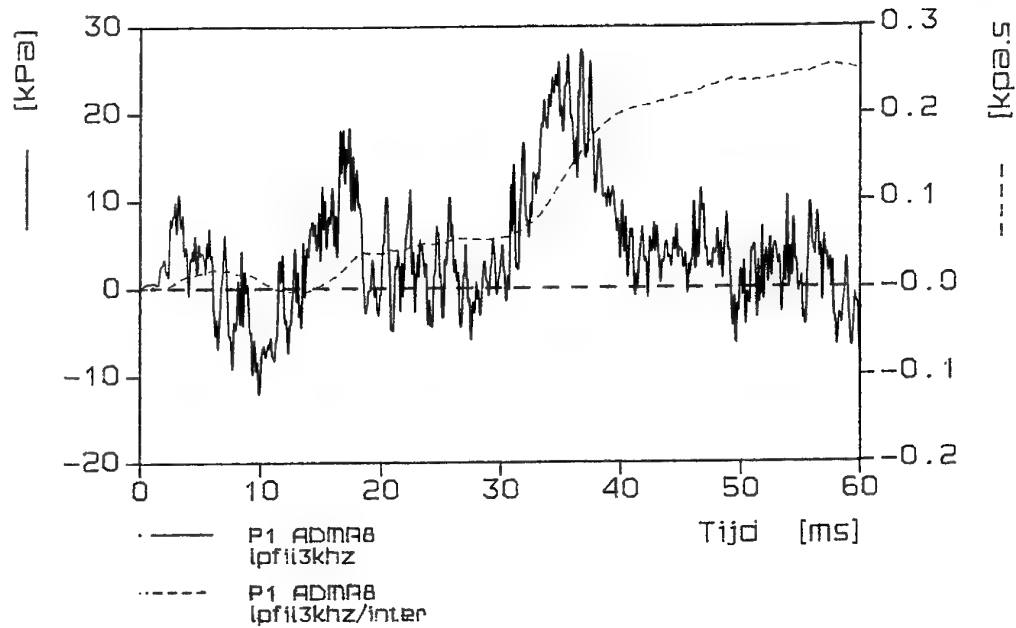
18-DEC-96  
16:31:13

test 1, 6mm staalplaat 10mm alu.p



RvdK

splj01



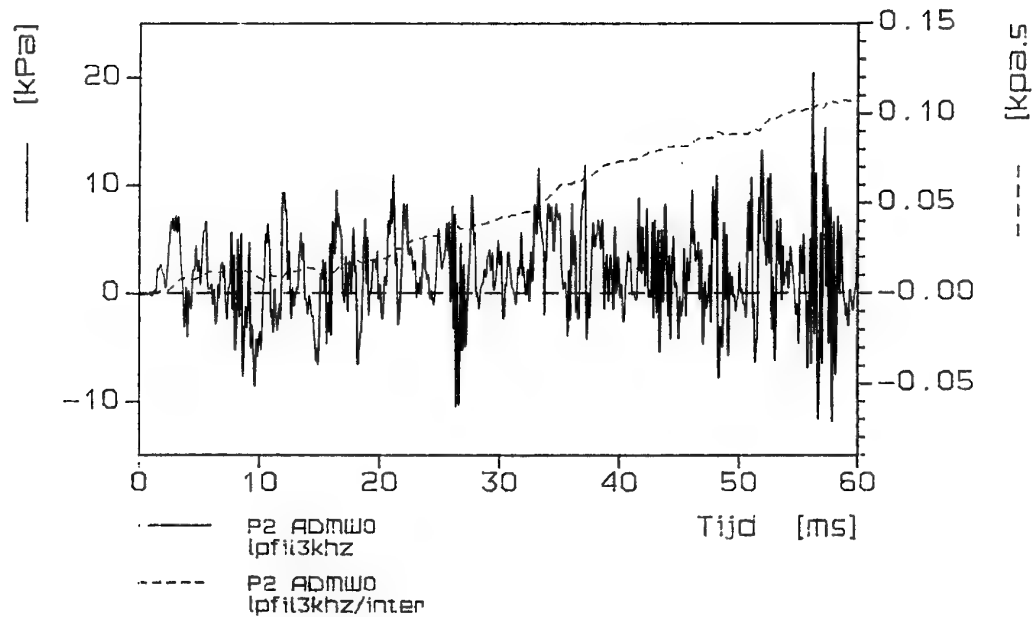
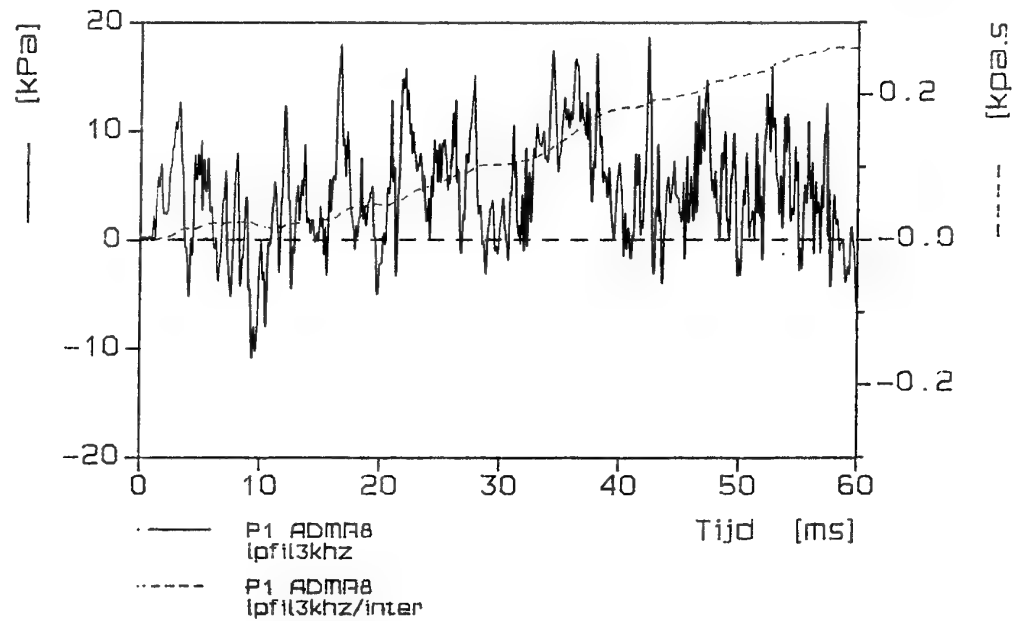
18-DEC-96  
16:32:29

test 2, 5mm staalplaat 10mm alu.



RvdK

spl:02



## **Bijlage B      Foto's**

In deze bijlage worden foto's getoond die een indruk geven van de opgetreden perforaties bij een tweetal experimenten (nrs. 3598 en 3594).

Deze foto's betreffen respectievelijk: voor- en achterkant staal pantserplaat, voor- en achterkant Dyneema spall-liner en voor-en achterkant aluminium pantserplaat. Tevens worden van deze experimenten de CCD-opnamen getoond die een indruk geven van de plaats van de perforaties in de staalplaat, aluminium plaat en de getuigeplaat. (Van de perforaties in de Dyneema spall-liner is geen CCD-opname mogelijk omdat het materiaal enigszins flexibel is en de opgetreden gaatjes/gaten niet permanent zijn.)



Foto B.1: Voorzijde staalpantserplaat.

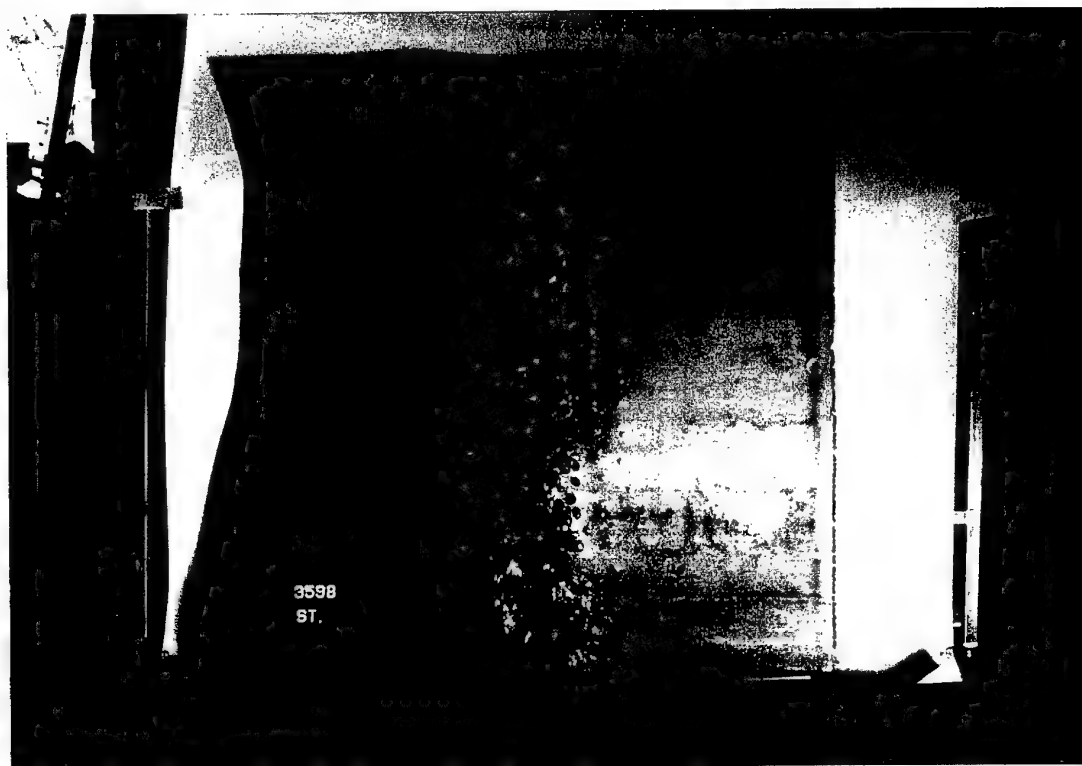


Foto B.2: Achterzijde staalpantserplaat.

De combipantserconfiguratie in experiment nr. 3598 bestaat respectievelijk uit: 5 mm staal 37, 24 mm lege ruimte, 10 mm aluminium en 12 mm Dyneema spall-liner (gelijmd op het aluminium).

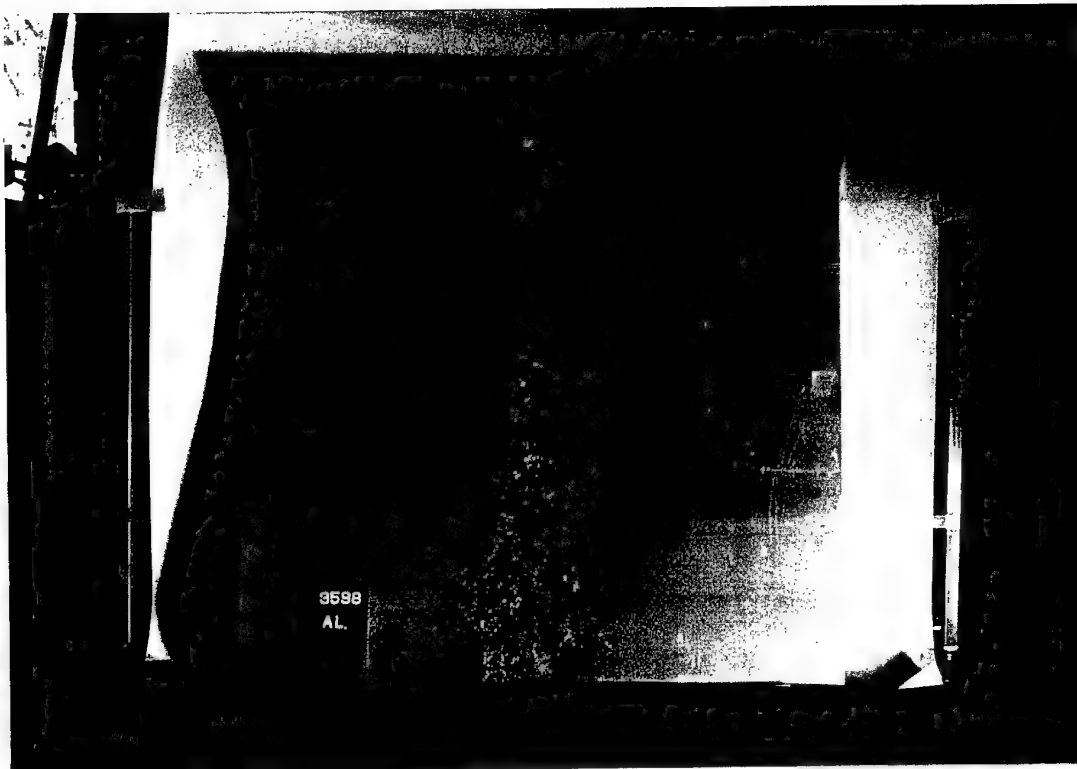


Foto B.3: Voorzijde aluminium pantserplaat.



Foto B.4: Achterzijde aluminium pantserplaat (voorzien van lijmresten).



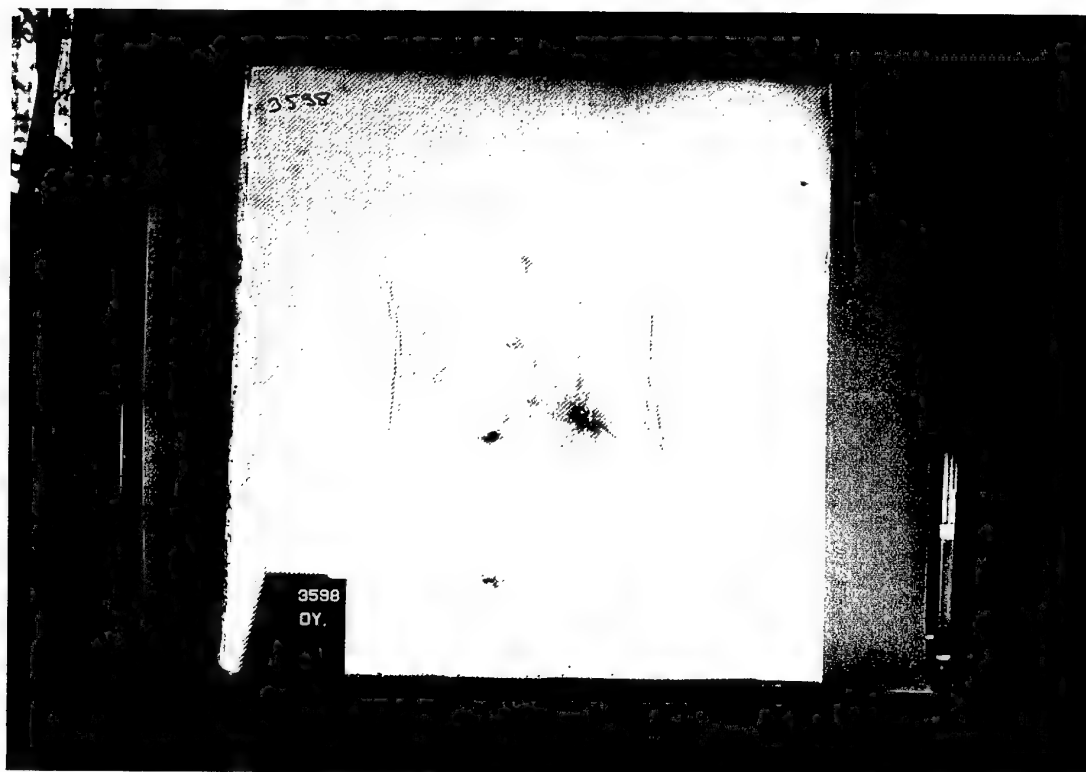


Foto B.5: Voorzijde Dyneema spall-liner (tijdens experiment op aluminium gelijmd).

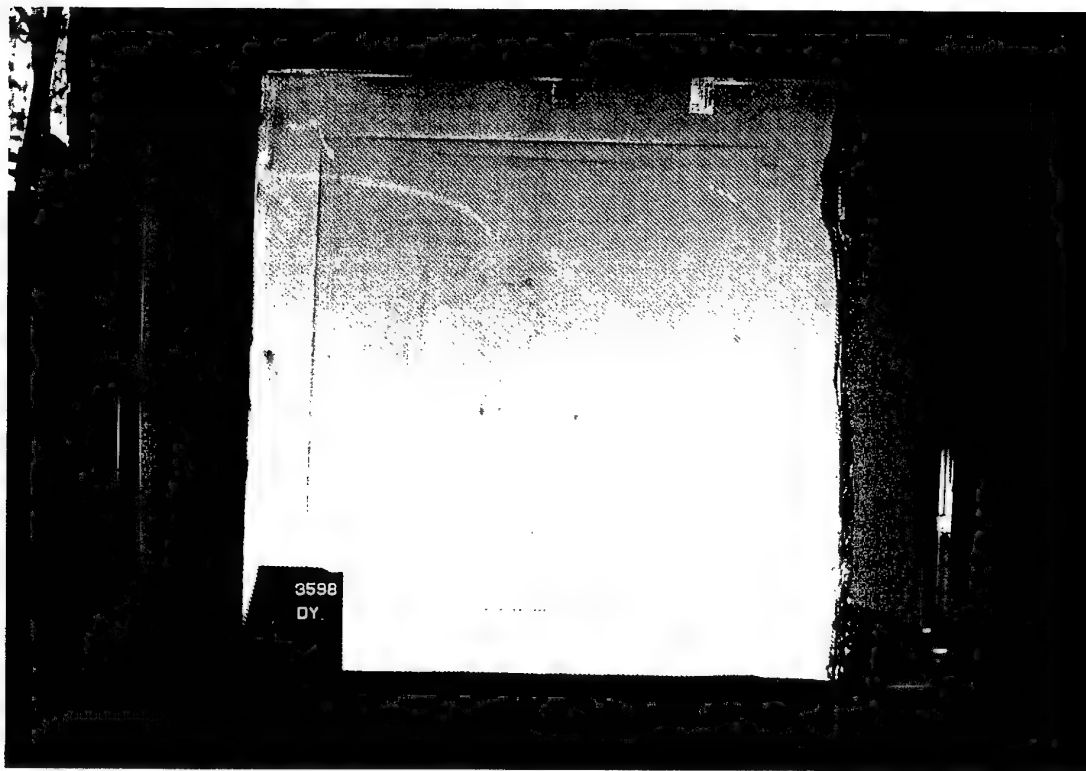
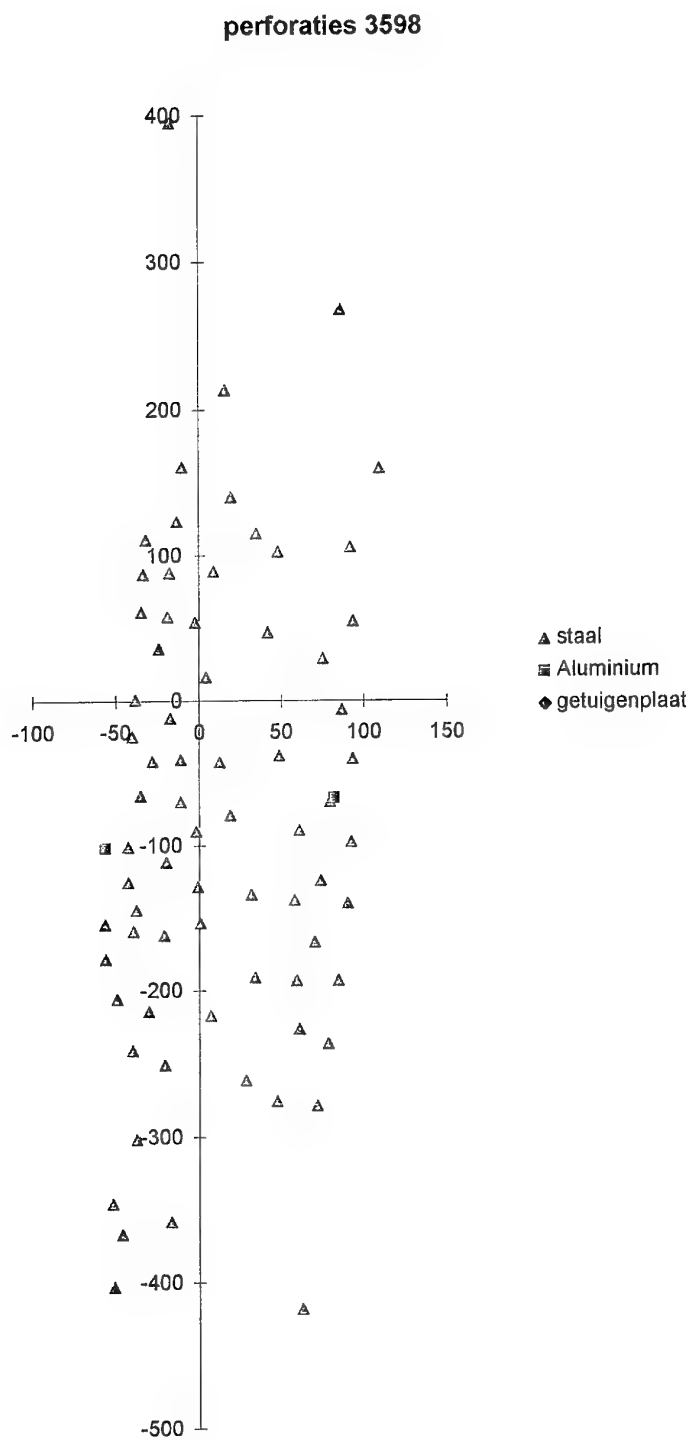


Foto B.6: Achterzijde Dyneema spall-liner.



*Figuur B.1: Aantal en plaats van perforaties in staal, aluminium en getuigenplaat (experiment nr. 3598), verkregen met CCD-camera.*



Foto B.7: Voorzijde staalpantserplaat.

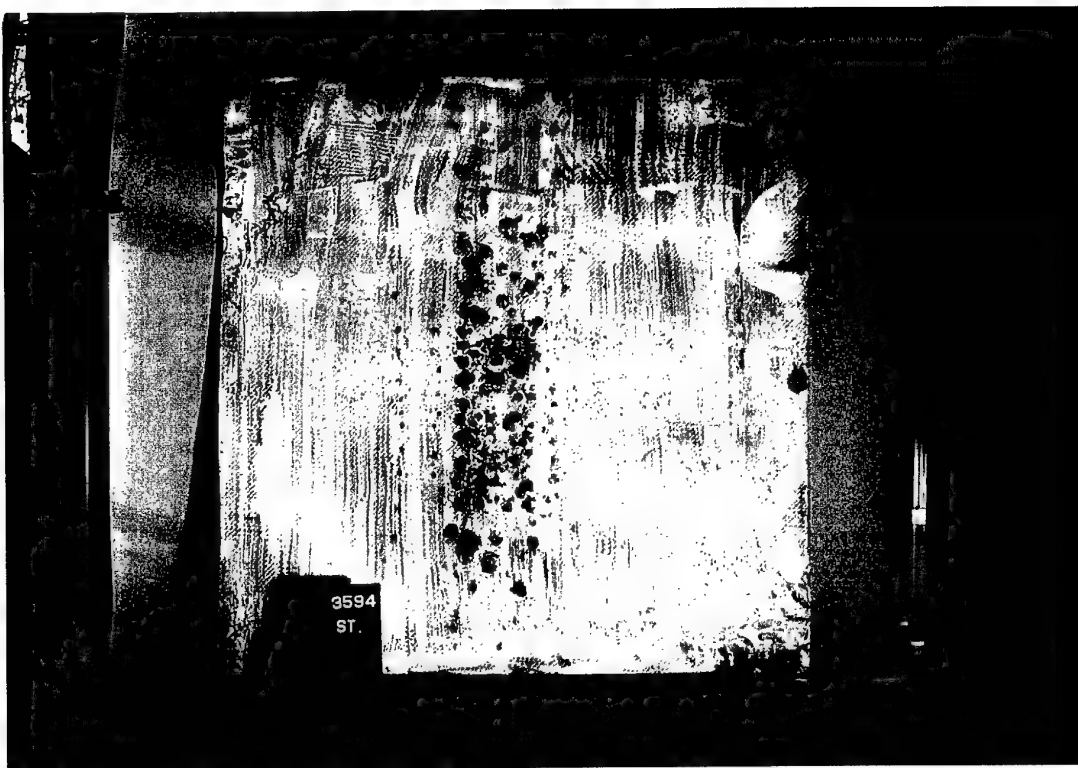


Foto B.8: Achterzijde staalpantserplaat (nog voorzien van lijmresten).

De combipantserconfiguratie in experiment nr. 3594 bestaat respectievelijk uit:  
5 mm staal 37, 12 mm Dyneema spall-liner (gelijmd op staal), 12 mm lege ruimte  
en 10 mm aluminium.

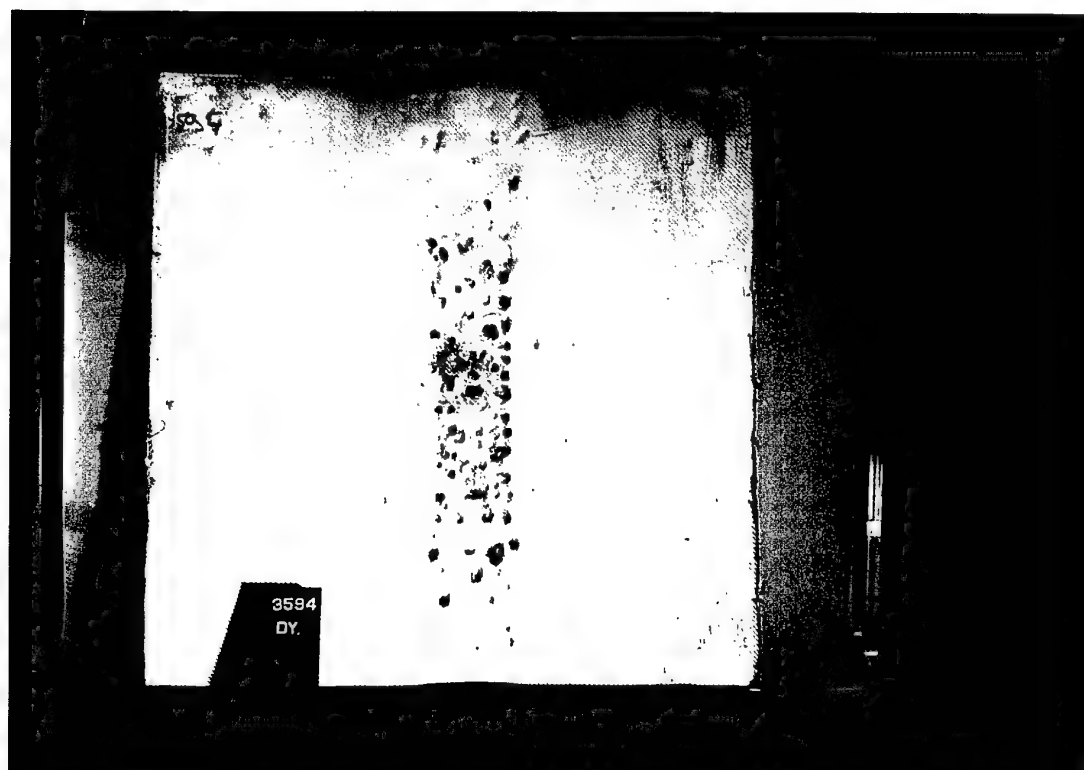


Foto B.9: Voorzijde van 12 mm Dyneema spall-liner (tijdens experiment gelijmd op staal plaat).

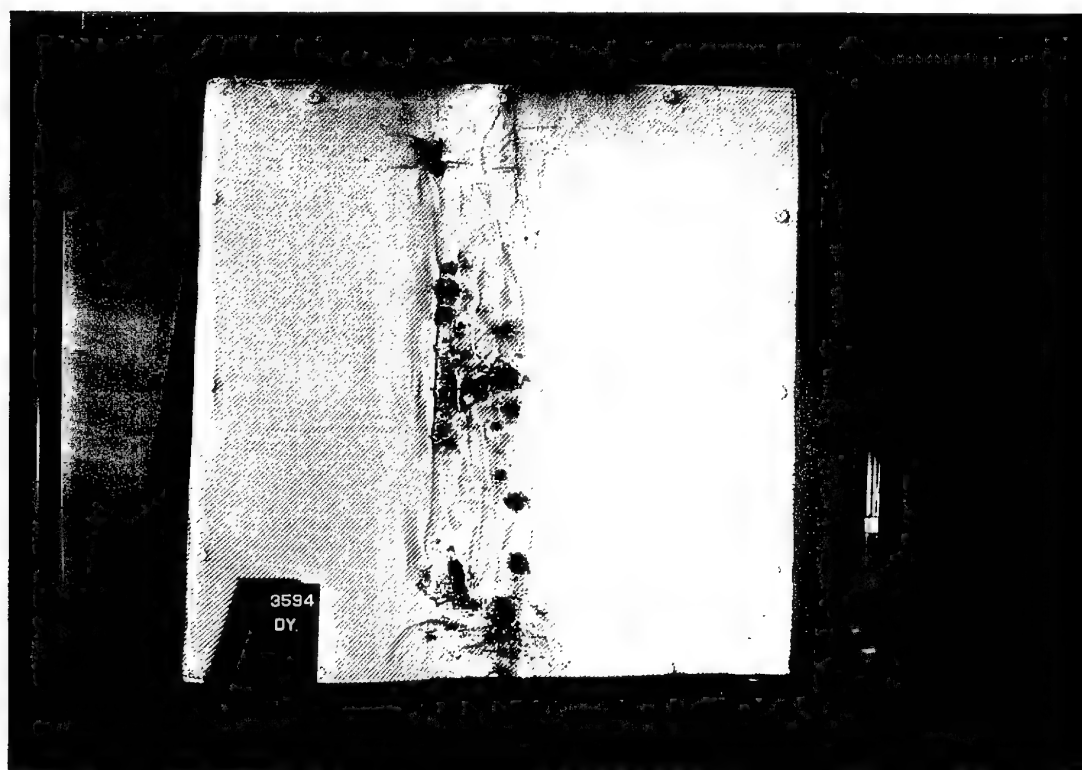


Foto B.10: Achterzijde van 12 mm Dyneema spall-liner.

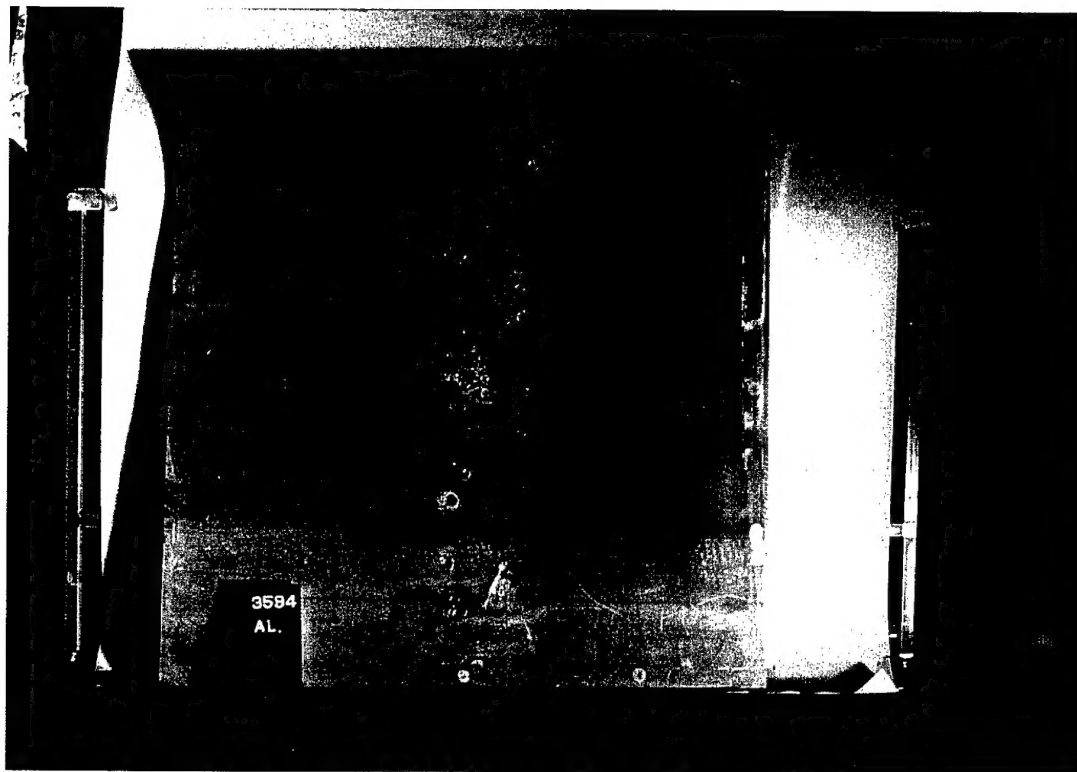


Foto B.11: Voorzijde aluminium pantserplaat.

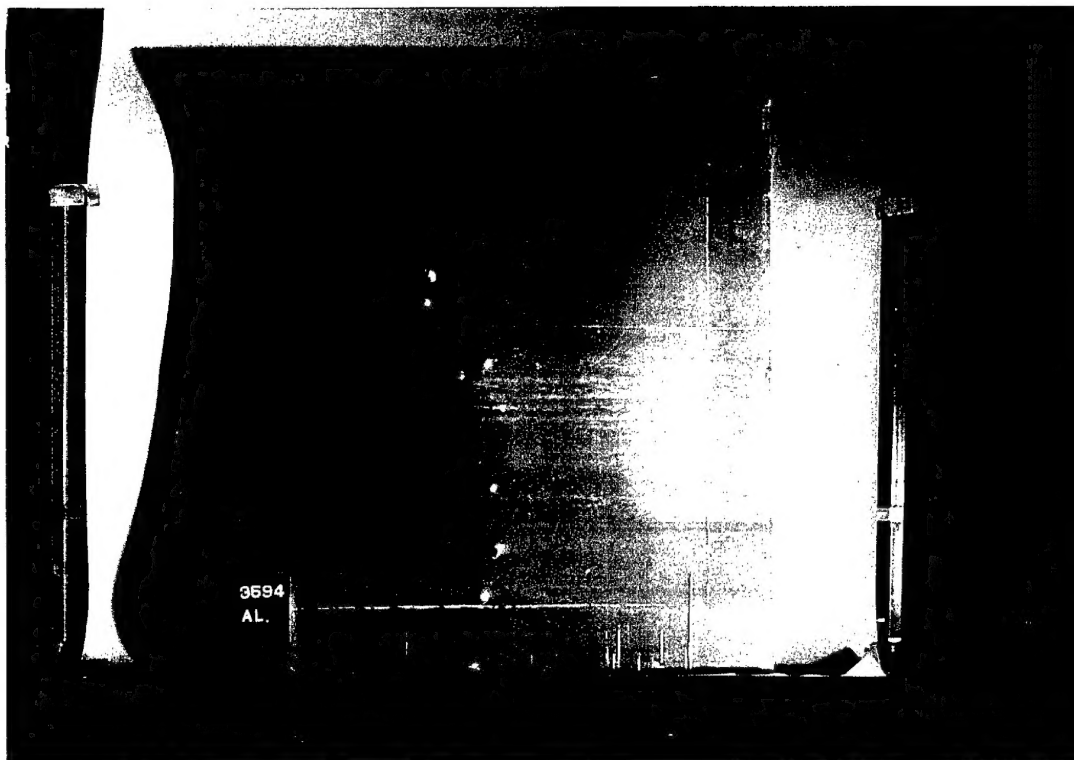


Foto B.12: Achterzijde aluminium pantserplaat.

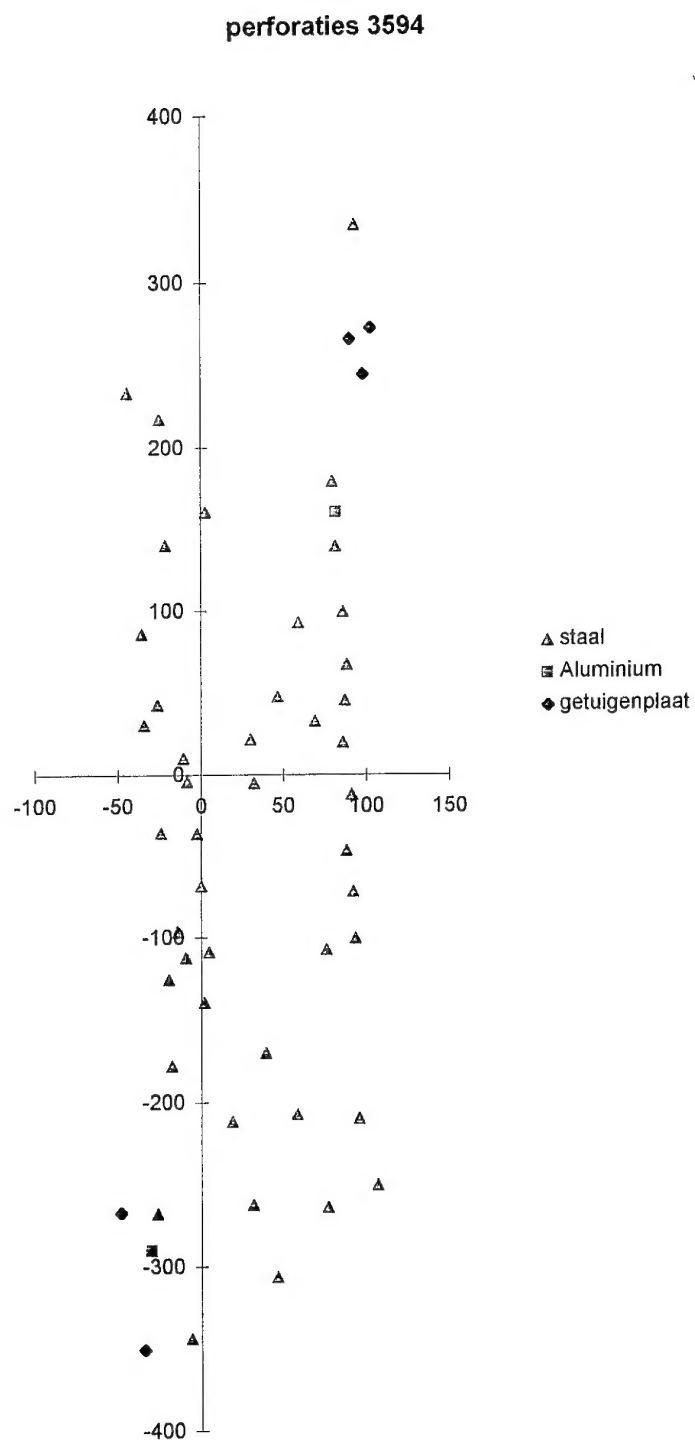


Figure B.2: Aantal en plaats van perforaties in staal, aluminium en getuigeplaat (experiment nr. 3594), verkregen met CCD-camera.

**REPORT DOCUMENTATION PAGE  
(MOD-NL)**

1. DEFENCE REPORT NO. (MOD-NL) TD97-0037	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO.	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO. PML 1997-A37
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 231496581	5. CONTRACT NO. A96KL484	6. REPORT DATE September 1997
7. NUMBER OF PAGES 30 (incl. 2 annexes, excl. RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES 2	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE Weerstand van spall-liners tegen de uitwerking van de mortiermijn nr. 23C2 (Ballistic resistance of spall-liners against the effects of the mortar mine nr. 23C2)		
11. AUTHOR(S) Drs. M. Ehrlich		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Prins Maurits Laboratory, P.O. Box 45, 2280 AA Rijswijk, The Netherlands Lange Kleiweg 137, Rijswijk, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) DMKL, Afdeling Manoeuvre, P.O. Box 90822, 2509 LV The Hague, The Netherlands		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified.		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) The protective capabilities of several configurations of spall-liner- vehicle armour, against the mortar mine type nr. 23C2, were determined. The vehicle armour consisted of 5 mm steel nr. 37, 24 mm air and 10 mm aluminium 6068. DYNEEMA composite spall-liners of respectively 6, 12 and 24 mm were tested. The DYNEEMA was applied as inliner (between the steel and aluminium) as well as outliner (attached onto the aluminium) Detonation distance of the mine was 30 cm. The best results were seen with 12 mm DYNEEMA spall-liner, applied as an outliner. Complete protection against the detonation of the mortar mine was obtained.		
16. DESCRIPTORS Ballistic tolerance Armor Dyneema Spall-Liner Mortars		DESCRIPTORS Ballistic protection Tests
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubriceerd
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Unlimited Distribution		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd

Distributielijst\*

- 1\*/2\* DWOO
- 3 DWOO
- 4 HWO-KL
- 5\* HWO-KLu
- 6\* HWO-KM
- 7/8 DMKL, Afdeling Manoeuvre  
M.C.P. Peijen en Lt.Kol. ir. R.M. van der Vlist
- 9 Bureau TNO-DO
- 10/12 Bibliotheek KMA
- 13\* Lid Instituuts Advies Raad PML  
Prof. B. Scarlett, M.Sc.
- 14\* Lid Instituuts Advies Raad PML  
Prof. ir. K.F. Wakker
- 15\* Lid Instituuts Advies Raad PML  
BGen. Prof. J.M.J. Bosch
- 16 TNO-PML, Directeur; daarna reserve
- 17 TNO-PML, Directeur Programma; daarna reserve
- 18 TNO-PML, Hoofd Divisie Wapens en Wapenplatformen,  
Dr. D.W. Hoffmans
- 19/21 TNO-PML, Divisie Wapens en Wapenplatformen,  
Research Groep Munitie-uitwerking en Ballistische Bescherming  
Dr. H.J. Reitsma, Ir. G.J.J. M. Peskes en Drs. M. Ehrlich
- 22 TNO-PML, Documentatie
- 23 TNO-PML, Archief

---

\* De met een asterisk (\*) gemerkte instanties/personen ontvangen uitsluitend de titelpagina, het managementuittreksel, de documentatiepagina en de distributielijst van het rapport.